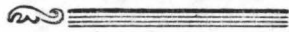
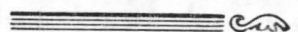


Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



№ 5 — 1974



УДК 532.517.4

Л. А. БУКИНА, Н. К. ШЕЛКОВНИКОВ, П. В. МИРОНОВ

МЕТОДИКА ТАРИРОВКИ ТЕРМОГИДРОМЕТРОВ ПО МОДУЛЮ И УГЛОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕКТОРА СКОРОСТИ

Описан метод тарировки термогидрометров по модулю и угловой составляющей вектора скорости непосредственно в исследуемом потоке при наличии в нем вертикального градиента скорости. Приведены образцы осциллограмм, с помощью которых определялась чувствительность термогидрометра, а также графики для определения чувствительности термогидрометров к изменению угла отклонения вектора скорости от среднего направления и к изменению средней скорости потока.

Исследование турбулентности водных потоков имеет большое значение для решения различных технических и гидродинамических задач. Однако изучение турбулентности в природных условиях связано с большими трудностями. Поэтому в большинстве случаев исследования проводятся в лабораторных условиях. Наиболее распространенными прямыми методами исследования турбулентности водных потоков в настоящее время являются метод кино съемки и метод термогидрометра. Метод кино съемки дает возможность получить средние и мгновенные характеристики изучаемого процесса без нарушения структуры потока в точке исследования. Однако этот метод не всегда применим, так как требует лотков специальной конструкции. Последнее обстоятельство, а также трудоемкость в обработке первичного материала заставляют исследователей в зависимости от поставленной задачи прибегать к другим методам, в частности к методу термогидрометра. Этот метод основан на свойстве нагретой электрическим током металлической нити менять свое сопротивление в зависимости от скорости обтекающего ее потока.

Если в поток поместить две проволоочки, расположенные под углом 90° друг к другу, и включить их в схему двойного измерительного моста, то можно измерить как модуль вектора скорости, так и угол между направлениями мгновенной и средней скоростей течения.

Таким образом, метод термогидрометра позволяет при минимальном возмущении потока с малой инерционностью и достаточной чувствительностью определить пульсации вертикальной и горизонтальной составляющих скорости. При этом кроме записей пульсаций модуля вектора скорости и угла между направлениями мгновенной и средней скоро-

стями течения необходимо иметь тарировочные коэффициенты прибора, с помощью которого регистрируются вышеуказанные величины.

Тарировка термогидрометров обычно проводится методом обратного потока. Датчик протягивается с постоянной скоростью в спокойной воде при различных скоростях и различных углах атаки датчика. Регистраторы, включенные в диагонали двойного моста постоянного тока, фиксируют токи разбаланса, пропорциональные скорости протяжки и углу атаки датчика. По полученным данным строятся тарировочные кривые, из которых определяется чувствительность датчика. Такая тарировка достаточно сложна по своему выполнению и требует большого числа тарировочных кривых, соответствующих различным режимам работы термогидрометров. Кроме того, для тарировки необходимо иметь лотки, оборудованные специальными устройствами, позволяющими производить равномерное перемещение датчика относительно неподвижной воды. При этом условия тарировки и условия, при которых осуществляется регистрация пульсаций скорости в исследуемом потоке, могут существенно отличаться по температуре, степени турбулентности, наличию в потоке пузырьков воздуха и различных взвесей.

Для потоков с вертикальным градиентом скорости течения в [2] предлагается более простой метод тарировки термогидрометра непосредственно в исследуемом потоке. Суть его заключается в следующем. Датчик скорости помещается в исследуемый поток и делается запись пульсаций скорости. Затем смещают датчик по вертикали на такое расстояние, чтобы средний уровень записи пульсаций изменился на величину, превышающую дисперсию исследуемого процесса, и опять делается запись. Одновременно изменяется вертикальный профиль скорости. Смещение среднего уровня записи пульсаций скорости Δl при изменении положения датчика по вертикали происходит за счет изменения средней скорости потока Δv с глубиной. Чувствительность прибора определяется, как $\Delta v / \Delta l = s$. Данный способ тарировки был применен при исследовании структуры турбулентности над шероховатым дном, однако непосредственных результатов по определению чувствительности этим методом в [2] не приводится.

В настоящей работе сделана экспериментальная проверка изложенного метода тарировки в ходе экспериментов по исследованию структуры турбулентности, а также распространен этот метод на тарировку по угловой составляющей вектора скорости.

Исследование структуры микротурбулентности проводилось в методическом лотке. Длина лотка 7 м, ширина 20 см, высота 40 см. Для создания шероховатости к дну лотка приклеивалась ровным слоем мелкая галька размером 5—7 мм. Уровень воды (20 см) и скорость потока в течение одного опыта поддерживались постоянными. В качестве датчика пульсаций продольной и вертикальной составляющих скорости использовались две вольфрамовые нити диаметром 20 мк и длиной 7 мм, которые приваривались точечной сваркой к трем стальным стерженькам диаметром 0,8 мм. Расстояние между стерженьками составляло 5 мм. Нити располагались под углом 90° друг к другу и 45° относительно направления движения потока. Датчик включался в схему двойного моста постоянного тока, показанную на рис. 1. При этом на выходе малого моста, в смежные плечи которого включались вольфрамовые нити r_1 и r_2 , с помощью гальванометра G_1 регистрировался угол отклонения вектора скорости от среднего направления. На выходе большого моста гальванометром G_2 фиксировалось общее изменение сопротивления обеих нитей, обусловленное изменением абсолютного значения скорости потока.

В качестве плечей сравнения малого моста использовались сопротивления r_3 и r_4 порядка 100 ом , одно из которых было переменным. Плечами сравнения большого моста являлись постоянные сопротивления $R_2=1,1 \text{ ом}$ и $R_3=100 \text{ ом}$, а также переменное сопротивление $R_4 \sim 300 \text{ ом}$. С помощью переменных сопротивлений устанавливалось нулевое значение тока разбаланса в диагоналях малого и большого моста.

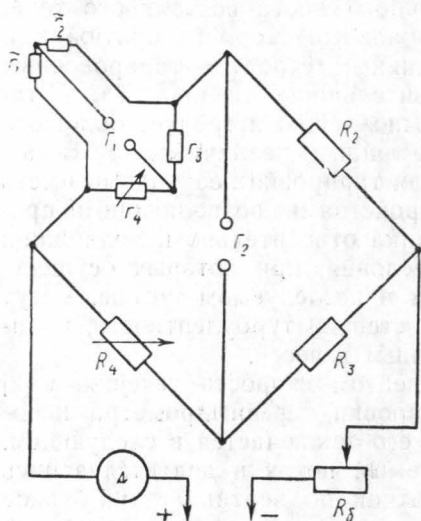


Рис. 1. Схема двойного моста постоянного тока

В качестве регистратора токов разбаланса использовался шлейфовый осциллограф Н-700. Источником питания моста служили аккумуляторы напряжением 12 в . Чтобы создать постоянно силу тока (0,8 а), с цепи двойного моста последовательно с аккумулятором было включено балластное сопротивление и амперметр А. Вольфрамовые проволочки перед опытом подвергались специальной термической обработке.

Измерение микропульсаций и градуировка датчика проводились в средней части потока. В качестве эталонного датчика средней скорости использовалась микровертушка типа х-6 диаметром 10 мм с чувствительностью 0,6 (мик/сек)/(см/сек). Рабочий

диапазон микровертушки был от 5 до 150 см/сек . Датчики скорости крепились к шпигелю, закрепленным над лотком. Длина записи при градуировке составляла в среднем 10 см . Скорость протяжки осциллографной ленты была равна 4 см/сек . Порядок градуировки был следующий. Микровертушка и датчик скорости устанавливались на некоторой высоте от дна лотка и на этом уровне производились короткие записи пульсаций модуля скорости и угла отклонения этого модуля от средней скорости. Измерения проводились при углах атаки датчика от -10 до $+10^\circ$. Затем градуировка повторялась на другой глубине. Для точной установки датчика на необходимой глубине использовались горизонтальные метки, нанесенные на обеих сторонах лотка на высотах 1,5; 2,5; 5; 10 и 18 см от верхнего уровня шероховатостей.

На рис. 2 приведены образцы осциллограммы, с помощью которых определялась чувствительность датчика по угловому отклонению вектора мгновенной скорости от среднего направления. Пунктиром показан средний уровень отклонений, соответствующих тому или иному углу наклона датчика по отношению к направлению средней скорости потока. Углы, на которые был отклонен датчик, указаны на рисунке; вертикальные штрихи — отметки времени через 0,1 сек .

Примеры тарировочных графиков показаны на рис. 3 и 4, где по оси ординат отложены показания гальванометров малого и большого моста, а по оси абсцисс на рис. 3 — угол отклонения датчика от горизонтального направления, на рис. 4 — скорость потока. Градуировочные кривые построены для различных глубин установки датчика в потоке, а также для вольфрамовых проволочек, взятых из одного и того же образца и приваренных в разное время к одному и тому же датчику.

На рис. 3, а показаны зависимости тока разбаланса в малом мосту от угла атаки датчика. Графики с одинаковыми номерами соответствуют градуировкам с одним и тем же датчиком, установленным на разных

уровнях от дна потока, а следовательно, проведенным при разных средних скоростях потока. При этом соответственно менялись и подгоночные сопротивления большого и малого моста. Как видно из рисунка, зависимость тока разбаланса в малом мосту при изменении угла атаки датчика в первом приближении имеет линейный характер. Тангенс угла наклона тарировочных графиков малого моста, или чувствительность датчика к изменению угла отклонения вектора скорости от среднего направления $\Delta\alpha$ остается постоянной при изменении скорости потока от 19 до 32 см/сек и в нашем случае составляла $\Delta\alpha/\Delta n = 0,55$ град/мм. Здесь Δn — смещение среднего уровня записей при изменении угла атаки датчика. На рис. 3, б показаны зависимости тока разбаланса в большом мосту от угла атаки датчика, полученные в ходе градуировок тремогидрометра по углу. Из рис. 3, б видно, что ток, снимаемый с измерительной диагонали большого моста, не меняется, если угол атаки датчика меняется в пределах от -10 до $+10^\circ$, т. е. $\Delta n/\Delta\alpha = \text{const}$.

На рис. 4 показаны зависимости тока разбаланса в диагонали большого моста от средней скорости потока. Здесь, так же как и на рис. 3, разные номера кривых соответствуют градуировкам с различными вольфрамовыми проволочками при разных подгоночных сопротивлениях. Как видно из рис. 4, характер зависимости тока разбаланса в диагонали большого моста от скорости потока в интервале скоростей от 19 до 32 см/сек может быть принят линейным, что говорит о постоянстве чувствительности датчика к изменению скорости потока в узком диапазоне скоростей. Несмотря на то что градуировки проводились в разное время, тангенс угла наклона градуировочных кривых, или чувствительность датчиков, остается практически постоянной. Она равна $\Delta v/\Delta n = 0,4$ (см/сек)/мм. Если кривые 2, 3, 4 получены по результатам специальных градуировок, то кривая 1 получена непосредственно в процессе эксперимента из записей микропульсаций горизонтальной составляющей скорости на разных высотах от дна.

Отсюда видно, что для определения чувствительности датчика к изменению средней скорости потока не обязательно проводить специальные градуировки. Ее можно определить непосредственно из записей в ходе эксперимента, если записи проводились при разных скоростях потока. Зная тарировочные коэффициенты $\Delta v/\Delta n$ и $\Delta\alpha/\Delta n$, легко определить

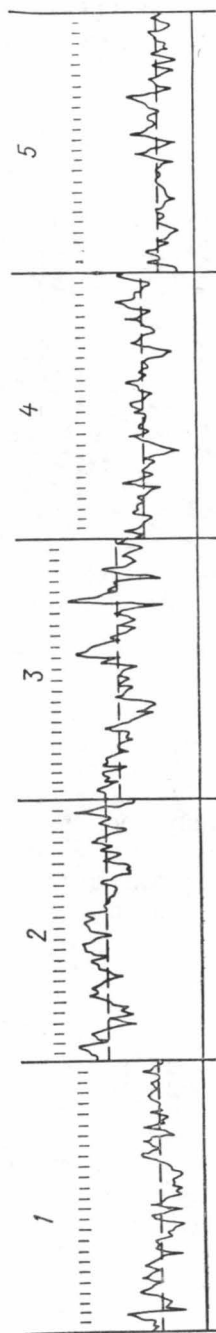


Рис. 2. Образцы осциллограмм, с помощью которых определялась чувствительность датчика. Глубина установки датчика от дна $h=2,5$ см. Угол отклонения датчика: 1 — $\alpha=0$, 2 — $\alpha=8,5$, 3 — $\alpha=5,7$, 4 — $\alpha=2,5$, 5 — $\alpha=0^\circ$

величины пульсации горизонтального u' и вертикального w' компонентов скорости по формулам $u' = v' = n' (\Delta v / \Delta n)$; $w' = |v| \alpha' = (u_{cp} + u') n'' (\Delta \alpha / \Delta n)$, где n' — величина отклонений показаний гальванометра большого моста от среднего значения, n'' — величина отклонения показаний гальванометра малого моста от среднего значения, u_{cp} — средняя скорость потока в точке измерений, определяемая эталонным датчиком.

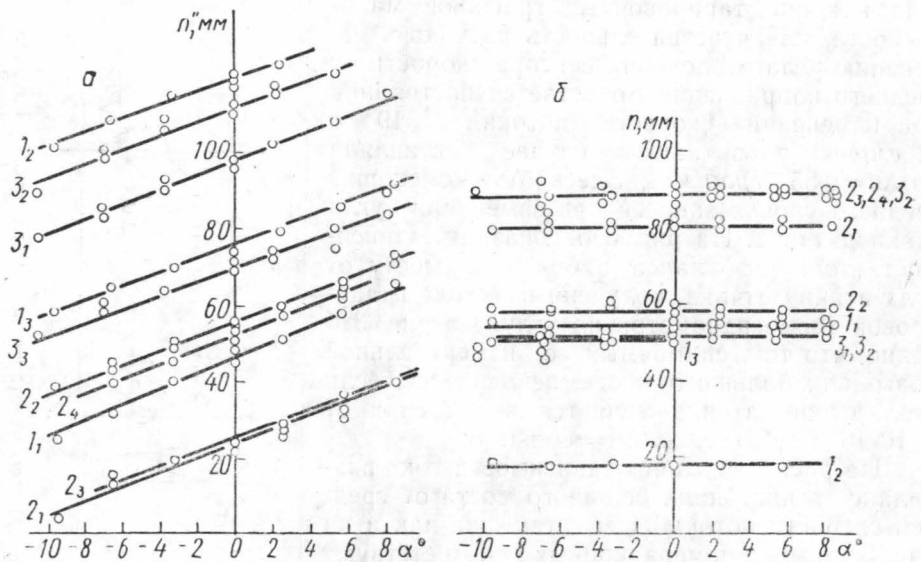


Рис. 3. Зависимость тока разбаланса в диагоналях малого (а) и большого (б) моста от угла атаки датчика (n — отклонение шлейфа осциллографа в мм, α — угол отклонения датчика от направления средней скорости потока)

Тарировочные графики, приведенные на рис. 3 и 4, хорошо сопоставляются с результатами градуировок Петрова [1], приведенных методом протяжки датчика в стоячей воде. Из данных [1] следует, что для углов атаки до $5-7^\circ$ зависимость чувствительности малого моста от скорости потока носит линейный характер, причем при изменении скорости потока от 10 до 110 см/сек чувствительность $\Delta \alpha / \Delta n$ меняется от 0,33 до 0,34 град/мм. В узком же интервале изменения скорости потока порядка 10 см/сек, как и в нашем случае чувствительность малого моста к изменению угла атаки датчика можно считать постоянной. Ток разбаланса большого моста зависит только от величины вектора средней скорости и не зависит от угла обтекания. Зависимость тока разбаланса большого моста от скорости потока имеет нелинейный характер. Так, на участке от 20 до 30 см/сек чувствительность боль-

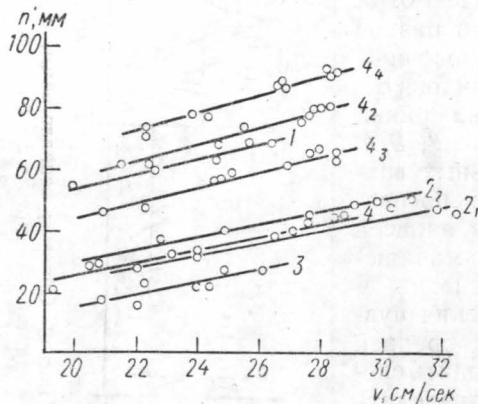


Рис. 4. Зависимость тока разбаланса в диагонали большого моста от скорости потока (n — отклонение шлейфа осциллографа, v — средняя скорость тока в точке измерения)

рости потока носит линейный характер, причем при изменении скорости потока от 10 до 110 см/сек чувствительность $\Delta \alpha / \Delta n$ меняется от 0,33 до 0,34 град/мм. В узком же интервале изменения скорости потока порядка 10 см/сек, как и в нашем случае чувствительность малого моста к изменению угла атаки датчика можно считать постоянной. Ток разбаланса большого моста зависит только от величины вектора средней скорости и не зависит от угла обтекания. Зависимость тока разбаланса большого моста от скорости потока имеет нелинейный характер. Так, на участке от 20 до 30 см/сек чувствительность боль-

шого моста к изменению скорости потока $\Delta v/\Delta n$ равна в среднем 100 (см/сек)/мм , на участке от 100 см/сек до 120 см/сек $\Delta v/\Delta n = 10 \text{ (см/сек)/мм}$. Однако для узкого интервала скоростей (порядка 10 см/сек) зависимость n от v можно принять линейной. К сожалению, точное сопоставление наших данных с данными Петрова затруднено, так как в [1] проводится только принципиальная схема термогидрометра для измерения модуля, вертикальной и горизонтальной скорости потока. Данных о конкретно использованных в работе [1] сопротивлениях, размерах и толщине платиновых проволочек не приводится.

Следует отметить стабильность чувствительности использованного нами датчика вне зависимости от того, проводилась ли градуировка с одной и той же проволочкой, или проволочки были приварены повторно. Как уже отмечалось, было использовано несколько вольфрамовых проволочек одинакового диаметра, приваренных к тому же держателю. Сравнение тарифовочных графиков, полученных в настоящей работе, показывает стабильность чувствительности датчиков. И это важно, так как при работе с термогидрометрами в лабораторных условиях большей частью приходится брать нити очень малого диаметра. Если в воздушном потоке их прочность не вызывает сомнения, то в водном потоке из-за дополнительного напора воды или присутствия мелких взвесей проволочки могут рваться. Поэтому результаты данной работы показывают, что для проволочек одинаковых размеров, взятых из одного и того же образца, в этом нет необходимости, так как их тарифовочные графики практически совпадают.

В заключение следует отметить, что предложенный в данной работе метод тарифовки термогидрометров является более простым по сравнению с существующими. Он позволяет определять чувствительность прибора как по модулю вектора скорости, так и по углу отклонения мгновенного вектора скорости от среднего направления потока непосредственно во время проведения эксперимента. При этом нет необходимости использовать лотки со специальными устройствами для равномерной протяжки датчиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров В. П. Реферат кандид. диссертации. МГУ, 1971.
2. Шелковников Н. К. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астрон., 12, № 5, 1971.

Поступила в редакцию
29.11 1972 г.

Кафедра
физики моря и вод суши